

*З метою забезпечення достовірності результатів оцінювання та контролю якості продукції, послуг, процесів, знань та інших об'єктів запропоновано методичку розрахунку невизначеності результатів вимірювання, здійснених експертними методами. Методичку апробовано шляхом дослідження невизначеності експертних вимірювань у системі управління якістю вищої освіти. Сформовано рекомендації для нормування характеристик персоналу з оцінювання якості*

*Ключові слова: оцінювання невизначеності, результати експертних вимірювань, якість експертів, рекомендації для стандартизації*

*В целях обеспечения достоверности результатов оценивания и контроля качества продукции, услуг, процессов, знаний и других объектов предложена методика расчёта неопределённости результатов измерения, осуществлённых экспертными методами. Методика апробирована путём исследования неопределённости экспертных измерений в системе управления качеством высшего образования. Сформированы рекомендации для нормирования характеристик персонала по оцениванию качества*

*Ключевые слова: оценивание неопределённости, результаты экспертных измерений, качество экспертов, рекомендации для стандартизации*

УДК 006.015.5; 621.317

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71607

# ДОСЛІДЖЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРТНИХ ВИМІРЮВАНЬ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

**Т. З. Бубела**

Доктор технічних наук\*

E-mail: paholuk@ukr.net

**М. М. Микийчук**

Доктор технічних наук, професор, директор

Інститут комп'ютерних технологій, автоматики та метрології\*\*

E-mail: mykolamm@ukr.net

**А. В. Гунькало**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: allagunkalo@ukr.net

**О. В. Бойко**

Кандидат технічних наук, доцент\*\*\*

E-mail: oxana\_bojko@ukr.net

**О. Є. Басалкевич**

Асистент\*\*\*

E-mail: elenelf22@gmail.com

\*Кафедра метрології, стандартизації та сертифікації\*\*

\*\*Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

\*\*\*Кафедра медичної інформатики

Львівський національний медичний

університет ім. Данила Галицького

вул. Пекарська, 69, м. Львів, Україна, 79010

## 1. Вступ

Процес визначення показників якості (ПЯ) продукції, послуг, процесів супроводжується виникненням невизначеностей, зумовлених різними причинами. Це може суттєво відобразитись на формуванні остаточної оцінки якості об'єкта, а отже, і вплинути на процес прийняття рішень в системі управління організацією. З метою забезпечення єдності оцінювання показників якості необхідно чітко встановити вимоги до точності визначення цих показників, значення яких дуже часто отримують, використовуючи експертні методи.

Кількісною оцінкою точності вимірювань є невизначеність результату вимірювань. Відомо, що для обчислення невизначеності результатів отримання ПЯ шляхом вимірювань існує добре розроблений апарат [1–3]. Зокрема, як зазначено у [2]: «Due to the expanding range of the use of measuring data processing and the possibility of the use of new instruments and

procedures, the problem of the assessment of the accuracy of the experimental determination of statistical characteristics (particularly the arithmetic mean) of correlated data was and still remains topical». Крім цього, методи оцінювання невизначеності активно розвиваються і адаптуються до конкретних вимірювальних задач, як, наприклад, в статті [3]: «This practical case shows then an example on how powerful tool can be metrology for engineers, not only for validation of models, but also providing a better knowledge of the parameters that have a greater influence on both the model and the experiment. The designer is thus aware of the aspects that can be improved to minimize the difference between model and experiments or the limits he cannot surpass in using the model according to the design criteria». Але багато ПЯ визначають, здійснюючи експертні вимірювання. Висока достовірність результатів таких вимірювань є запорукою ефективного функціонування системи управління якістю. Тому розроблення методичного апарату для оцінювання невизначеності експертних вимірювань є актуальним.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Загальноприйнятих рекомендацій для оцінювання невизначеності результатів експертних вимірювань не розроблено. Деякі автори пропонують оцінювати лише окремі властивості експертного вимірювання, що не можна назвати вичерпною оцінкою його точності. Так, однією з найпоширеніших властивостей вважається коефіцієнт узгодженості думок експертів [4, 5]. Тобто домінуючим критерієм оцінки якості експертної групи є ступінь досягнутого консенсусу, на основі чого приймаються важливі управлінські рішення [6]. Інші автори [7] пропонують вважати основними атрибутами експертного оцінювання «повноту та швидкість його проведення, а також об'єктивізацію суб'єктивних тверджень та висновків», що теж повністю не відображає всі складові, від яких залежить якість експертного оцінювання.

Сьогодні створюються експертні системи, які формуються на основі знань та досвіду експертів [8], що знову ж підкреслює важливість оцінювання точності (невизначеності) результатів їх досліджень і функціонування таких систем.

Отже, той факт, що проблему оцінювання якості експертів до цього часу ще не вирішено, очевидно, пояснюється відсутністю системного підходу до її вирішення, оскільки не існує стандартизованих показників якості експерта. В наукових статтях, зокрема в [5, 9, 10], зазвичай наводять тільки назви невеликої кількості окремих показників без їх обґрунтування і без наведення взаємозв'язку між ними. Наприклад, в одному випадку такими показниками вважають компетентність, неупередженість і об'єктивність, в іншому випадку – компетентність і неупередженість, в третьому – тільки компетентність. Що стосується самої компетентності експерта, то інколи її визначають як надійність і обґрунтованість поставлених оцінок, а інколи як його поінформованість та постійність суджень. Крім цих, найчастіше згадуваних показників, в окремих роботах [11] рекомендують враховувати і деякі інші, наприклад, зацікавленість експерта в участі в експертизі, здатність експерта оперувати шкалою відношень, здатність експерта враховувати достатньо велику кількість градацій у використанні шкали оцінювання. Часто результати експертних вимірювань використовують з метою не лише оцінювання фактичного стану речей, але й з метою прогнозу окремих явищ. В цьому випадку до уваги береться точність прогнозу та неупередженість оцінок, яка визначається за допомогою статистичних методів та регресійного аналізу [12], класичне використання яких пов'язано з труднощами, обумовленими наявністю невизначеностей. Тому автори публікацій [13–16] під час побудови оцінок надають перевагу використанню інструментарію нечіткої математики, зокрема, нечітких регресійних моделей, що теж є лише частковим вирішенням питання забезпечення необхідної достовірності та точності експертного дослідження.

Варто відзначити, що окремі науковці пропонують оцінювати точність експертного вимірювання шляхом порівняння його результатів з результатами, отриманими на основі реалізації інших методів. Так, автор статті [17] пропонує порівнювати результати експертного та соціологічного досліджень одних і тих самих об'єктів. В екстремній ситуації такий підхід може бути використа-

ний, але він не відображає об'єктивної оцінки точності та невизначеності результату експертного вимірювання.

Отже, відсутність методики для оцінювання якості експертних вимірювань та невизначеності їх результатів у відповідності до сучасних міжнародних вимог, обумовлюють необхідність проведення досліджень у цьому напрямі.

## 3. Ціль та задачі дослідження

Дослідження ставили за мету розробити методичний підхід до використання концепції невизначеності [1] для оцінки якості експертних вимірювань.

Для досягнення цієї мети були поставлені та вирішувались наступні завдання:

- проаналізувати джерела виникнення невизначеності результатів експертних вимірювань;
- запропонувати методику розрахунку невизначеності результатів експертного вимірювання;
- розробити рекомендації для нормування показників якості експертів з оцінювання якості;
- апробувати запропоновану методику на прикладі оцінювання невизначеності результатів експертного вимірювання ступенів важливості складових діяльності студентів вищого навчального закладу з метою забезпечення ефективного функціонування його системи управління якістю.

## 4. Матеріали та методи дослідження невизначеності результатів експертних вимірювань

### 4. 1. Аналітичне дослідження джерел виникнення невизначеності результатів експертних вимірювань

З метою обґрунтування авторської методики оцінювання невизначеності результатів експертних вимірювань попередньо було проведено аналітичне дослідження джерел її виникнення [4–11], за результатами якого було встановлено основні етапи експертного вимірювання та основні причини виникнення невизначеності, які пов'язані з недосконалістю експертів, невірним вибором їх кількості та умовами проведення експертизи (рис. 1).

*Недосконалість експертів.* На основі аналізу спеціальної літератури [4–20] та досвіду вважаємо, що доцільно об'єднати показники якості експерта у чотири групи. За цими групами можна визначити його ступінь недосконалості, а саме: компетентність, зацікавленість в результатах експертизи, об'єктивність та надійність (рис. 2). Для цих показників сформовано рекомендації для вибору методів їх визначення (рис. 2). Компетентність експерта повинна поширюватися на об'єкт оцінювання якості (професійна компетентність) і методологію оцінювання (кваліметрична компетентність).

Професійна компетентність охоплює знання історії розвитку оцінюваного об'єкта (зміна його властивостей і показників якості); процесу його створення (дослідження, конструювання, виготовлення); значень показників якості різних його модифікацій, насамперед найкращих аналогів; перспектив розвитку; результатів науково-дослідних робіт і патентних матеріалів, які можуть привести до зміни властивостей і показників якості; потреб споживачів, умов і характеру потреб.

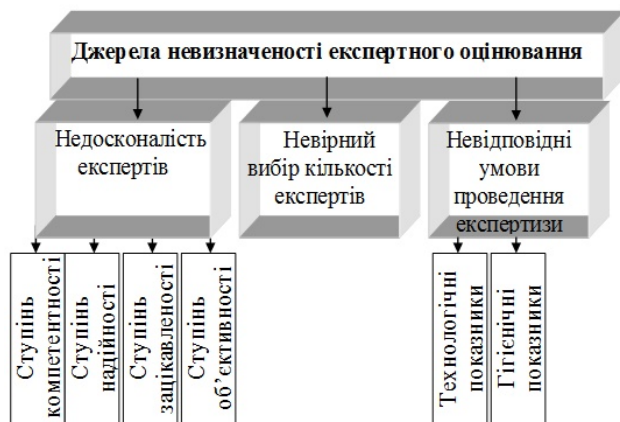


Рис. 1. Джерела невизначеності експертних вимірювань

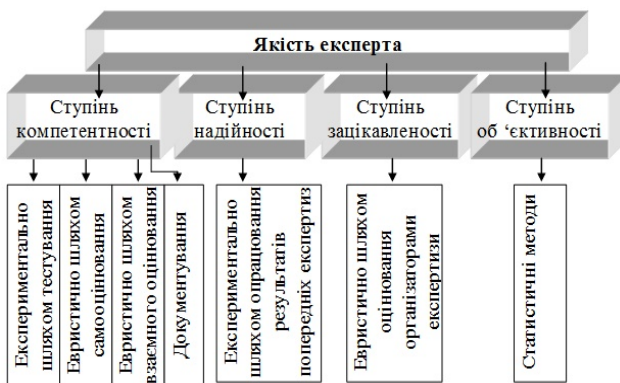


Рис. 2. Система ПЯ експерта та методи їх визначення

Кваліметрична компетентність забезпечує: чітке розуміння експертом підходу до оцінювання якості; знання методів оцінювання якості, особливо експертних; вміння користуватися різними типами оцінюваних шкал, розрізняючи при цьому достатньо велику кількість градацій. В процесі підготовчих робіт експерту можуть повідомити додаткову інформацію для підвищення його кваліметричної компетентності. Однак, порівняно короткий термін підготовчого етапу ускладнює сприйняття і знижує ефективність роботи експерта.

Зацікавленість експерта в результатах експертизи залежить від багатьох факторів: ступеня завантаженості експерта основною роботою, можливості використання отриманих результатів; цілей експертизи; характеру висновків, які можуть бути зроблені за результатами оцінювання якості; індивідуальні особливості експерта.

Об'єктивність (неупередженість) можна розглядати як вміння враховувати тільки ту інформацію, яка визначає задоволення потреб даною продукцією, послугою чи процесом. Необ'єктивність експерта полягає в завищеній чи заниженій оцінці якості продукції і може бути пояснена явищем конформізму. Необ'єктивність експерта може проявитися і в іншій ситуації. Справа в тому, що експертні оцінювання стосуються або типу продукції (наприклад, коефіцієнти вагомості, оцінювання показників якості), або конкретного її зразка (наприклад, органолептичне оцінювання естетичних і ергономічних показників якості). Необ'єктивність експерта найчастіше проявляється в другому

випадку – під час оцінювання реальних зразків. Наприклад, експерт завищує оцінки естетичних і ергономічних показників якості продукції підприємства, з яким він пов'язаний по роботі. Стосовно ступеня надійності експерта, то можна вважати, що він визначається стабільністю його думки. Рівень стабільності можна оцінити через відтворюваність в часі (протягом кількох турів оцінювання, здійснених через певні часові інтервали) результатів оцінювання експертом одного і того самого об'єкта.

#### Методи оцінювання ПЯ експертів.

Для оцінювання ПЯ експертів існує чимало методів, серед яких доцільно виокремити наступні:

- евристичні – оцінки, проставлені людиною (самооцінка, взаємна оцінка експертів та оцінка організаторами експертизи), які доцільно використати для визначення рівня компетентності експертів та їх ступеня зацікавленості;
- експериментальні – оцінки, отримані за результатами спеціальних випробовувань експертів, які доцільно використати для визначення рівня їх компетентності та надійності;
- статистичні – оцінки, отримані в результаті опрацювання висновків експертів про об'єкт оцінювання та порівняння їх з середньою думкою всіх експертів, які доцільно використати для визначення ступеня об'єктивності експерта;
- документальні – оцінки, що базуються на аналізі документальних даних про експертів та можуть використовуватись для визначення рівня компетентності експертів.

Вищенаведені методи можна компонувати в різний спосіб і отримані оцінки сумувати з врахуванням їх важливості. При цьому можна отримати комбіновану оцінку  $K_{\text{комб}}$ .

Далі доцільно дослідити методи визначення ПЯ експертів та умови їх застосування.

Евристичні оцінки, які базуються на формуванні:

а) самооцінки ( $Q_{\text{сам}}$ ), коли експерт самостійно оцінює свою професійну компетентність, тобто ступінь інформованості з різними сторонами об'єкта експертизи анкетуванням [21]. Ступінь самооцінки експерта  $K_{\text{сам}}$  можна визначити як суму параметрів самооцінки експерта з врахуванням їх вагових коефіцієнтів. Тоді ступінь самооцінки експертної групи визначатиметься як середнє значення самооцінок експертів групи;

б) взаємооцінки ( $Q_{\text{вз}}$ ), коли з метою зменшення суб'єктивності оцінка компетентності кожного експерта  $K_{\text{вз}}$  визначається як середнє арифметичне з оцінок, які надані рештою експертів;

в) оцінки організаторів експертизи ( $Q_{\text{ор}}$ ), коли в кількісній формі надається характеристика зацікавленості експерта в участі у експертизі. Рекомендуються значення параметрів  $K_{\text{сам}}$ ,  $K_{\text{вз}}$ ,  $K_{\text{ор}}$  представляти з використанням 10-бальної шкали.

Експериментальні оцінки отримують за результатами спеціальних тестувань експертів на:

а) компетентність ( $Q_{\text{кк}}$ ), коли визначається рівень теоретичних знань та практичних вмінь експертів;

б) схильність до конформізму, при визначенні якої часто використовують «метод підставної групи»: особі, що проходять тестування і групі інших підставних осіб, які попередньо домовилися з експериментатором, демонструють оцінюваний об'єкт. Ступінь наблизен-

ня судження до підставної групи характеризує міру його конформізму. Для простоти визначення конформізму експертів можна використовувати вираз:

$$K_{ок} = P_{сам} - P_{груп}, \quad (1)$$

де  $P_{сам}$  і  $P_{груп}$  – відповідно кількість помилок експерта при самостійному винесенні суджень і сумісно з підставною групою;

в) відтворюваність результатів ( $Q_{вр}$ ). Оцінка відтворюваності (враховуючи 10-бальну шкалу) є свідченням певного ступеня надійності експерта. Вона може бути сформована за допомогою коефіцієнта кореляції рангу Спірмена між двома ідентичними турами експертної оцінки (наприклад, ранжуванні вагових коефіцієнтів), які були відтворені кожним  $j$ -тим експертом:

$$K_{(вр)j} = 10 \cdot r_j, \quad (2)$$

$$r_j = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_{ij}^2}{n^3 - n}, \quad (3)$$

де  $d_{ij}$  – різниця між рангами, присвоєними  $j$ -тим експертом ( $K_{експерт}$  – кількість експертів)  $i$ -тому коефіцієнту вагомості ( $n$  – кількість оцінюваних об'єктів) в першому і другому турах опитування.

Або ж, використовуючи спосіб відхилення від середнього (один тур експертної оцінки), вираз для розрахунку  $r_j$  можна представити, як:

$$r_j = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n [\overline{M}_i - M_{ij}], \quad (4)$$

де  $M_{ij}$  – значення коефіцієнта вагомості для  $i$ -того об'єкта, проставленого  $j$ -тим експертом;  $\overline{M}_i$  – середнє значення коефіцієнтів вагомості для даного об'єкта, розраховане на основі оцінок всіх експертів для цього об'єкта.

Метод потребує додаткового часу для повторних опитувань та більше обчислень, наприклад у порівнянні з евристичними оцінками, проте є об'єктивнішим.

Статистичне оцінювання базується на оцінюванні відхилення думки експерта від середньої думки групи експертів і базується на використанні:

а) методу ранжування оцінюваних величин (обчислення коефіцієнта конкордації, тобто узгодженості думок експертів) ( $Q_{рв}$ ), коли істинним значенням є середня оцінка експертів. Відповідно, чим менше значення відхилення індивідуальної оцінки експерта від колективної, тим більший показник конкордації чи узгодженості думок експертів. Коефіцієнт конкордації  $W$  для  $K_{експерт}$  експертів визначається, як

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{\frac{1}{12} \left[ K_{експерт}^2 \cdot (n^3 - n) - K_{експерт} \cdot \sum_{j=1}^N T_j \right]}, \quad (5)$$

де

$$d_i = S_i - \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \quad S_i = \sum_{j=1}^{K_{експерт}} R_{ij}, \quad T_j = \sum_{i=1}^L (t_i^3 - t_i),$$

де  $L$  – кількість груп однакових рангів;  $t_i$  – кількість зв'язаних рангів в кожній групі;  $R_{ij}$  – ранги, виставлені кожним  $j$ -тим експертом по кожному  $i$ -тому об'єкту.

Оскільки  $0 \leq W \leq 1$ , то при  $W=0$  у  $N$  експертів повністю відсутня будь-яка узгодженість, а при  $W=1$  вона є повною. Метод потребує значних витрат часу для здійснення повного об'єму обчислень, наприклад, у порівнянні з апіорними евристичними оцінками. При оцінюванні узгодженості думок експертів важливо визначити, якою мірою кожний експерт впливає на узагальнену узгодженість групи. Для цього послідовно з розрахунків вилучається один експерт та обчислюється коефіцієнт конкордації без врахування думок вилученого експерта. Якщо під час вилучення його думки  $W$  зростає, то це негативно його характеризує, якщо  $W$  зменшується, то – позитивно. З метою приведення  $W_j$  до 10-бальної системи для кожного експерта пропонується вважати: якщо  $W_j=W$ , то  $W_j$  присвоїти 5 балів, якщо  $W_j-W=+\max$  (максимальне з додатних значень різниць  $W_j-W$ ), то приймаємо  $W_j=5-5=0$ , якщо  $W_j-W=+\min$  (мінімальне з додатних значень), то  $W_j=5-1=4$ , а проміжні значення між  $+\max$  та  $+\min$  обчислюються пропорційно в балах. Для  $W_j-W=-\max$  (максимальне з від'ємних значень) матимемо  $W_j=5+5=10$ , а для та  $W_j-W=-\min$  (мінімальне з від'ємних значень) матимемо  $W_j=5+1=6$ , а проміжні значення між  $-\max$  та  $-\min$  обчислюються пропорційно в балах;

б) визначення числових значень оцінюваних величин ( $Q_{чз}$ ), в основі якого лежить поняття відстані між оцінками. Цей метод не потребує значних витрат;

в) оцінки об'єктивності ( $Q_{об}$ ), для яких потрібно розробляти спеціальні методики оцінювання об'єктивності експертів. Іноді для цього використовуються оцінки відхилення від середнього, що було описано вище.

Документальні оцінки ( $Q_{до}$ ) базуються на аналізі документальних об'єктивних даних про характеристики експертів. Вони можуть використовуватись паралельно з іншими методами визначення ПЯ експертів. Невизначеність в цьому випадку може бути пов'язана з наявністю неповної інформації про заслуги експерта.  $K_{(до)j}$  – коефіцієнт документальної оцінки  $j$ -того експерта можна визначити як суму параметрів документальної оцінки експерта з врахуванням їх вагових коефіцієнтів. Тоді ступінь документальної оцінки експертної групи визначатиметься як середнє значення документальних оцінок експертів групи. Як і в попередніх випадках, доцільно використовувати 10-бальну шкалу.

Результати дослідження методів оцінювання ПЯ експертів в роботі представлено у вигляді табл. 1. Порівняння методів здійснено за критеріями оцінювання їхніх переваг, недоліків, та ступеня використання.

На основі табл. 1 стає можливим здійснити правильний вибір оптимальних методів оцінювання ПЯ експертів під час формування комбінованої оцінки в кожному конкретному випадку. В загальному випадку при врахуванні усіх показників якості експерта комбінований показник якості  $j$ -того експерта можна представити відповідно до виразу:

$$Q_j = (Q_{самj} + Q_{взj} + Q_{оеj} + Q_{ккj} + Q_{врj} + Q_{рвj} + Q_{чзj} + Q_{обj} + Q_{доj}) / q, \quad (6)$$

де  $q$  – кількість складових, які враховувались під час розрахунку комбінованого показника якості  $j$ -того експерта.



Таблиця 1

## Порівняння методів оцінювання показників якості експертів

Назва методу	Переваги	Недоліки	Максимальне застосування
Евристичні $Q_{сам}$ , $Q_{вз}$ , $Q_{ое}$	високі технологічні показники щодо реалізації та підготовки методу, а саме низька часо- та трудомісткість, достатньо висока інформативність	суб'єктивність суджень	для оцінювання ступеня компетентності та зацікавленості експертів
Експериментальні $Q_{ак}$ , $Q_{вр}$	достатній рівень об'єктивності, а отже менша невизначеність результату оцінювання, яку можна оцінити середньоквадратичним відхиленням	довго тривалість реалізації, трудомісткість опрацювання результатів	для оцінювання ступеня компетентності та надійності експертів
Статистичні $Q_{рв}$ , $Q_{чз}$ , $Q_{об}$	висока об'єктивність	висока трудо- та часомісткість підготовчих робіт та реалізації	для оцінювання ступеня об'єктивності експертів
Документальні $Q_{до}$	об'єктивність, обґрунтованість, висока технологічність реалізації методу	результати документальної оцінки залежать від галузі роботи експерта	для оцінювання компетентності експертів

Якщо кожен складову показника якості представляти у балах (10-бальна шкала), то  $1 \leq Q_j \leq 10$ , але можна задатись умовою, що

$$Q = \sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} Q_j = 1.$$

**Невірний вибір кількості експертів.** Щоб здійснити правильний вибір кількості експертів, доцільно скористатись положеннями теорії ймовірності (а саме виразом для довірчого значення похибки) [22, 23]. Оцінку кількості експертів  $K_{\text{експерт}}$  потрібно представляти з заданою довірчою ймовірністю  $P$  у діапазоні значень, притаманних для метрології, а саме від 0,9 до 0,99 та з похибкою  $\Delta$ . Використовуючи вираз для розрахунку довірчого інтервалу, формулу для обчислення  $K_{\text{експерт}}$  можна записати, як ( $K_{\text{експерт}}$  є прототипом кількості спостережень):

$$K_{\text{експерт}} = \frac{t^2 \cdot S^2}{\Delta^2}, \quad (7)$$

де  $t$  – коефіцієнт Стюдента для заданої довірчої ймовірності;  $S$  – середньоквадратичне відхилення експертної оцінки.

Якщо  $S$  є невідомим (наприклад, експертиза здійснюється вперше), то похибку  $\Delta$  доцільно задавати до проведення оцінювання як частку від  $S$  відношенням

$$\Delta_1 = \frac{\Delta}{S}. \quad (8)$$

Тоді, вираз (7) набуде вигляду

$$K_{\text{експерт}} = \frac{t^2}{\Delta_1^2}, \quad (9)$$

звідки відповідно

$$\Delta_1 = \frac{t}{\sqrt{K_{\text{експерт}}}}. \quad (10)$$

Значення похибок  $\Delta_1$ , обчислених згідно з (10), для різної кількості експертів  $K_{\text{експерт}}$  та довірчої ймовірності експертного оцінювання  $P_{\text{дов}}$ , зведено у табл. 2. На основі даних табл. 2 можна зробити висновок, що починаючи з кількості експертів 7, похибка  $\Delta_1$  є меншою за одиницю, а, отже, задана похибка оцінювання  $\Delta$  не перевищуватиме  $S$  і становитиме частку від нього. Тобто мінімальна кількість експертів не повинна бути меншою за 7 осіб.

Таблиця 2

Значення похибок  $\pm \Delta_1$  для різної кількості експертів  $K_{\text{експерт}}$  та довірчої ймовірності експертної оцінки  $P_{\text{дов}}$

Кількість експертів	2	3	4	5	7	10	15	20	30	40
$P_{\text{дов}}, \%$										
90	4,50	1,75	1,80	1,00	0,73	0,58	0,45	0,39	0,31	0,26
95	8,98	2,48	1,59	1,24	0,93	0,71	0,55	0,47	0,37	0,31

Отже, дані табл. 2 доцільно враховувати під час підрахунку невизначеності типу В і враховувати її як складову сумарної стандартної невизначеності результату експертного оцінювання.

**Умови проведення експертизи.** Оскільки для експертизи відводяться приміщення для роботи, то їх стан та кліматичні умови повинні відповідати вимогам щодо охорони праці. Так під час виконання експертного вимірювання експерт перебуває в стані обмеженої рухливості в замкнутому просторі. Це може спричинити виникнення несприятливих впливів на остаточну оцінку, а отже, внести невизначеність. Остання зумовлена дією наступних чинників:

- відхиленням нормативних характеристик мікроклімату в робочій зоні від норми;
- підвищеного рівня шуму та вібрації;
- недостатньої освітленості робочої зони;
- відсутності або недостатності природного світла;
- підвищеної яскравості світла;
- підвищеної або зниженої вологості повітря;
- підвищеного або зниженого тиску;
- надмірної трудо- та часомісткості робіт.

#### 4. 2. Методика розрахунку невизначеності результатів експертного вимірювання

Для розрахунку невизначеності результатів експертних вимірювань авторами запропоновано методу, яка передбачає використання обох типів невизначеності (тип А та тип В). Зокрема, невизначеність типу А слід розраховувати через середнє квадратичне відхилення оцінок експертів від середнього значення.

Подібна процедура передбачена для рівноточних експертних вимірювань показників якості (що є прототипом збіжності для рівноточних спостережень в метрології) і для їх нерівноточних експертних вимірювань (що є прототипом відтворюваності для нерівноточних спостережень в метрології). Тобто оцінка експерта розглядається авторами статті як прототип результату спостереження, отриманого засобом вимірювань.

Збіжність експертних оцінок по певному об'єкту оцінювання можна обчислювати за умови, що показники якості експертів є практично однаковими. Тоді невизначеність за типом А для і-того об'єкта оцінювання рахуватиметься згідно з формулою:

$$u_{Ai} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{K_{\text{експерт}} \cdot (K_{\text{експерт}} - 1)}}, \quad (11)$$

де  $x_{ij}$  – результат експертного оцінювання, тобто експертна оцінка j-того експерта для і-того об'єкта;  $\bar{x}_i$  – середнє арифметичне значення експертних оцінок для всіх  $K_{\text{експерт}}$  експертів для і-того об'єкта.

Відповідно, стандартна невизначеність групи експертів, які оцінювали серію об'єктів одного і того самого призначення, обчислюватиметься як:

$$u_A = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Ai}^2}, \quad (12)$$

де  $n$  – кількість оцінюваних об'єктів експертною групою.

Якщо комбіновані показники якості експертів є неоднаковими (а це зустрічається практично завжди), матимемо випадок нерівноточних спостережень [24]. Тоді експертна оцінка  $x_{ij}$  кожного експерта повинна мати свій коефіцієнт вагомості  $Q_j$ , обчислений відповідно до виразу (6). Тоді формула (11) трансформується у вираз:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} (Q_j \cdot (x_{ij} - \bar{x}_i)^2)}{Q \cdot (K_{\text{експерт}} - 1)}}, \quad (13)$$

де

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} (Q_j \cdot x_{ij})}{Q}, \quad Q = \sum_{j=1}^{K_{\text{експерт}}} Q_j. \quad (14)$$

де  $x_{ij}$  – результат експертного оцінювання, тобто експертна оцінка j-того експерта для і-того об'єкта;  $\bar{x}_i$  – середнє арифметичне експертних оцінок для всіх  $K_{\text{експерт}}$  експертів для і-того об'єкта;  $Q_j$  – коефіцієнт вагомості j-того експерта (6).

Для параметрів, які характеризують умови проведення експертизи, існують нормовані показники, відхилення від яких є причиною виникнення невизначеності типу В  $u_B$ .

Отже, сумарна стандартна невизначеність експертних вимірювань  $u_C$  становитиме:

$$u_C = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{Bi}^2 + \sum_{j=1}^m u_{Aj}^2}. \quad (15)$$

Тоді розширена невизначеність  $U$ :

$$U = k \cdot u_C, \quad (16)$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення для заданої довірчої ймовірності  $P_{\text{дов}}$ .

На основі отриманого значення розширеної невизначеності приймається рішення щодо рівня точності експертного дослідження та необхідності проведення додаткового. Крім цього, за результатами оцінювання невизначеності можна здійснити порівняння декількох аналогічних експертних досліджень щодо їх достовірності.

## 5. Результати досліджень невизначеності експертних вимірювань

Запропоновану авторську методику оцінювання невизначеності результатів експертного вимірювання було апробовано для потреб забезпечення ефективного функціонування системи управління якістю у вищому навчальному закладі. Здійснено експертне дослідження ступенів важливості таких складових діяльності студента, як навчальна, наукова, методична, громадська та самовдосконалення. Такі дослідження у вищих навчальних закладах є необхідними для модернізування процесів управління якістю в сфері освітніх послуг, тому оцінювання невизначеності їх результатів є надзвичайно важливим. Для експертного вимірювання було розроблено анкету і залучено 40 експертів – викладачів. За результатами опрацювання анкет сформовано рейтинг важливості складових діяльності студента у балах за 10-бальною шкалою (рис. 3).

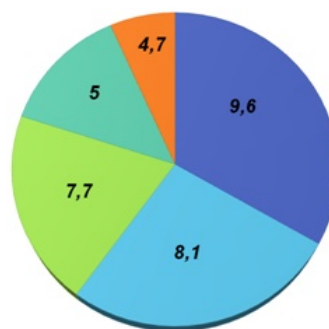


Рис. 3. Виміряні значення ступенів важливості складових діяльності студента: 9,6 – навчальна діяльність; 8,1 – самовдосконалення; 7,7 – наукова діяльність; 5 – методична діяльність; 4,7 – громадська діяльність

Для обчислення абсолютних значень стандартної невизначеності цього експертного дослідження (табл. 4) згідно з методикою, запропонованою в роботі, були розраховані коефіцієнти вагомості експертів  $Q_j$  (табл. 3) з приведенням їх до 10-бальної шкали. Ці коефіцієнти увійшли у формулу для розрахунку стандартної невизначеності типу А (13), (14). Коефіцієнти вагомості формувались з врахуванням таких складових, як: складова коефіцієнта вагомості експерта – ступінь його об'єктивності, визначався статистично через коефіцієнт конкордації (5); складова коефіцієнта вагомості експерта – ступінь надійності розраху-

вався через відтворюваність експертних оцінок в часі, проведених в два тури (2), (3); складова коефіцієнта вагомості експерта – ступінь його компетентності ви-значався документальним методом на основі об'єктивних даних; складова коефіцієнта вагомості експерта – ступінь його зацікавленості був встановлений евристично організаторами дослідження. Відносні значення невизначеностей у табл. 4, 5 обчислювались шляхом ділення відповідних значень абсолютних невизначеностей на виміряні значення ступенів важливості складових діяльності студента (рис. 3) і представлені у відсотках.

Таблиця 3

Комбіновані ПЯ експертів (коефіцієнти їх вагомості  $Q_j$ ) та їх складові

Експерт	Ступінь об'єктивності експерта, бали	Ступінь надійності експерта, бали	Ступінь компетентності експерта, бали	Ступінь зацікавленості експерта, бали	Комбінований ПЯ експерта, $Q_j$ , бали
Експерт 1	7,0	10	6,5	10	8,375
Експерт 2	7,3	9,917	7,3	8	8,129
Експерт 3	10	10	10	10	10,000
Експерт 4	9,0	10	7,3	10	9,075
Експерт 5	7,0	9,917	7,2	8	8,029
Експерт 6	6,0	10	8	10	8,500
Експерт 7	7,0	9,917	6,3	8	7,804
Експерт 8	9,0	9,917	6,5	8	8,354
Експерт 9	6,0	9,75	9,2	6	7,738
Експерт 10	6,0	9,834	7,2	7	7,508
Експерт 11	6,0	10	7,2	10	8,300
Експерт 12	6,0	9,834	6,5	7	7,334
Експерт 13	7,0	9,917	6,5	8	7,854
Експерт 14	9	9,917	10	8	9,229
Експерт 15	9	9,917	6,5	8	8,354
Експерт 16	7	9,834	8	7	7,958
Експерт 17	6	9,917	6,5	8	7,604
Експерт 18	7,3	9,834	3,5	7	6,908
Експерт 19	7,3	9,917	3,2	8	7,104
Експерт 20	9	9,917	6,3	8	8,304
Експерт 21	7,3	9,5	7,2	5	7,250
Експерт 22	9	9,917	3,8	8	7,679
Експерт 23	6	10	9,2	10	8,800
Експерт 24	9	9,917	7,2	8	8,529
Експерт 25	7	9,917	6,5	8	7,854
Експерт 26	10	10	2,5	10	8,125
Експерт 27	7	9,917	9,2	8	8,529
Експерт 28	6	9,917	6,5	8	7,604
Експерт 29	7,3	9,917	4,2	8	7,354
Експерт 30	9	9,917	6,5	8	8,354
Експерт 31	7,3	9,917	5,5	8	7,679
Експерт 32	7,3	10	7	10	8,575
Експерт 33	10	9,917	4,5	8	8,104
Експерт 34	7	9,834	5,6	7	7,358
Експерт 35	7	9,917	6	8	7,729
Експерт 36	10	10	6,5	10	9,125
Експерт 37	7,3	10	6,5	10	8,450
Експерт 38	7	9,917	4,8	8	8,529
Експерт 39	7,3	9,917	9,2	8	8,604
Експерт 40	7	9,917	3,5	8	7,104

Таблиця 4

Стандартна невизначеність типу А результатів експертних вимірювань ступенів важливості складових діяльності студента

Назва складової діяльності студента	Абсолютне значення стандартної невизначеності $u_A$ , бали	Відносне значення стандартної невизначеності $u_A$ , %
Навчальна діяльність	0,2770	2,88
Самовдосконалення	0,1937	2,39
Наукова діяльність	0,2130	2,77
Методична діяльність	0,5487	10,97
Громадська діяльність	0,6046	12,86

Під час досліджень умови проведення експертного дослідження відповідали встановленим нормальним умовам праці, а кількість експертів 40 була достатньою (табл. 2) для забезпечення високого рівня достовірності результатів експертних вимірювань. Отже, завершальним етапом реалізації методики став розрахунок розширеної невизначеності (табл. 5) результатів експертного дослідження відповідно до виразу (16).

Таблиця 5

Розширена невизначеність результатів експертних вимірювань важливості складових діяльності студента для  $P_{\text{дов}}=95\%$

Назва складової діяльності студента	Абсолютне значення розширеної невизначеності $U$ , бали	Відносне значення розширеної невизначеності $U$ , %
Навчальна діяльність	0,5595	5,82
Самовдосконалення	0,3913	4,83
Наукова діяльність	0,4646	5,60
Методична діяльність	1,1084	22,16
Громадська діяльність	1,2213	25,98

Дані табл. 5 свідчать про різний ступінь невизначеності під час експертного вимірювання ступеня важливості складових діяльності студента.

## 6. Обговорення результатів дослідження та формування рекомендацій

За результатами експертних вимірювань було встановлено ступені важливості діяльності студента, які можна представити ранжованим рядом від найважливішого до найменш важливого, а саме: навчальна діяльність, самовдосконалення, наукова діяльність, методична діяльність, громадська діяльність. Для експертного вимірювання ступеня важливості кожної складової були розраховані значення невизначеностей. При цьому найменші значення невизначеності отримано для складових «самовдосконалення», «нау-

кова робота», «навчальна діяльність», що свідчить про високий ступінь відтворюваності результатів експертних вимірювань ступенів важливості цих складових. Найбільші значення невизначеності виявились для складових «методична діяльність» та «громадська діяльність». Для цих складових було доцільним прийняти рішення про проведення повторного експертного вимірювання з іншим складом експертів.

Оскільки під час розрахунку невизначеності здійснювалось обчислення коефіцієнтів вагомості експертів (табл. 3), то варто зазначити, що ступені об'єктивності експертів набували значень від 6 до 10 балів, ступені надійності – від 9,5 до 10 балів, ступені компетентності – від 3,2 до 10, ступені зацікавленості – від 5 до 10 балів.

З метою атестації експертів в роботі було запропоновано нормувати їх показники якості шляхом встановлення для них нижньої межі допустимого значення. На основі результатів експертних досліджень ці норми були сформовані і представлені у табл. 6.

Таблиця 6

Рекомендації щодо нормування показників якості фахівців – експертів з оцінювання якості

Назва показника	Тип нормування	Нижня межа допустимого значення
<b>Показник компетентності</b> , обчислений за результатами самооцінювання $Q_{сам}$ , взаємного оцінювання $Q_{вз}$ , документального оцінювання $Q_{до}$ , експериментального тестування $Q_{ек}$		по 3 бали
<b>Показник зацікавленості</b> , обчислений за результатами оцінювання організаторами $Q_{ор}$		5 балів
<b>Показник об'єктивності</b> , обчислений за результатами статистичного опрацювання даних через коефіцієнт конкордації $Q_{узг}$ для кожного експерта		5 балів
<b>Показник надійності</b> , обчислений за результатами експериментального тестування через коефіцієнт відтворюваності результатів $Q_{вр}$ , отриманих в кількох турах		5 балів

Отже, для успішної атестації експертів необхідно, щоб їх показники якості були якомога вищими. При цьому нижня межа допустимих значень їх показників

якості не повинна бути меншою за відповідну межу, вказану у табл. 6.

## 7. Висновки

1. На основі аналізу основних етапів експертного вимірювання було встановлено основні причини виникнення невизначеності його результатів. А саме: недосконалість експертів, невірний вибір їх кількості та умови проведення експертизи.

2. Розроблено методику розрахунку невизначеності результатів експертних вимірювань, використання якої дозволяє гармонізувати процес оцінювання точності результатів таких вимірювань з міжнародними вимогами (а саме: представити результати експертних вимірювань на основі використання концепції невизначеності). Запропоновано систему показників якості експерта та методи їх визначення, що дає можливість формувати коефіцієнти вагомості під час розрахунку невизначеності типу А експертних вимірювань. Запропоновано спосіб врахування невизначеності типу В.

3. Сформовано рекомендації Запропоновано нормувати показники якості фахівців-експертів шляхом встановлення для них нижньої межі допустимих значень (за 10-бальною шкалою), а саме: для показника компетентності – 3 бали, а для показників зацікавленості, об'єктивності та надійності – по 5 балів. Такий підхід дозволяє стандартизувати характеристики експертів та вдосконалити процес їх атестації. Крім цього, нормування показників якості експертів є важливою складовою забезпечення єдності експертних вимірювань.

4. В роботі представлено результати проведеного експертного дослідження щодо оцінювання ступеня важливості складових діяльності студента та розрахунок їх невизначеності згідно з запропонованою методикою, які показали, що найважливішою складовою діяльності студента є «навчальна діяльність», а найменш вагомою – «громадська діяльність». При цьому були розраховані значення невизначеностей результатів експертного вимірювання, а саме: найменше значення отримано для складової «самовдосконалення», а найбільше значення – для складової «громадська діяльність».

Вважаємо, що результати дослідження, представлені в роботі, є актуальними в усіх сферах діяльності, де проводяться експертні вимірювання, оскільки їх точність є визначальною для забезпечення ефективного функціонування системи управління в організаціях.

## Література

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Second edition [Text]. – ISO, Switzerland, 1995. – 101 p.
2. Kowalczyk, A. Standard uncertainty determination of the mean for correlated data using conditional averaging metrology and measurement systems [Text] / A. Kowalczyk, A. Szlachta, R. Hanus // Metrology and Measurement System. – 2012. – Vol. 19, Issue 4. – P. 787–796.
3. Gutiérrez, R. An uncertainty model of approximating the analytical solution to the real case in the field of stress prediction [Text] / R. Gutiérrez, M. Ramírez, E. Olmeda, V. Díaz // Metrology and Measurement System. – 2015. – Vol. 22, Issue 3. – P. 429–442. doi: 10.1515/mms-2015-0031
4. Кондрук, Н. Е. Розробка системи обробки нечіткої експертної інформації [Текст] / Н. Е. Кондрук // Управління розвитком складних систем. – 2014. – № 18. – С. 173–176.



5. Данилкович, А. Г. Вибір номенклатури показників якості гідрофобізованого хутряного велюру експертним методом [Текст] / А. Г. Данилкович, Н. Б. Хлебнікова, Н. В. Омельченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 5, № 3 (71). – С. 34–39. doi: 10.15587/1729-4061.2014.27613
6. Parratt, J. A. Expert validation of a teamwork assessment rubric: A modified Delphi study [Text] / J. A. Parratt, K. M. Fahy, M. Hutchinson, G. Lohmann, C. R. Hastie, M. Chaseling, K. O'Brien // Nurse Education Today. – 2016. – Vol. 36. – P. 77–85. doi: 10.1016/j.nedt.2015.07.023
7. Снитюк, В. Є. Оптимізація процесу оцінювання в умовах невизначеності на основі структуризації предметної області та аксіоми незміщеності [Текст] / В. Є. Снитюк, Г. М. Гнатієнко // Штучний інтелект. – 2008. – № 3. – С. 217–223.
8. De Carlo, P. J. The design and development of an expert system prototype for enhancing exam quality [Text] / P. J. De Carlo, N. Rizk // International Journal of Advanced Corporate Learning (IJAC). – 2010. – Vol. 3, Issue 3. – P. 10–13. doi: 10.3991/ijac.v3i3.1356
9. Гунькало, А. В. Покращення рівня якості продукції компетентними експертами [Текст] / А. В. Гунькало, О. І. Шпак // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2014. – Т. 4, № 1 (18). – С. 36–38. doi: 10.15587/2312-8372.2014.26368
10. Байцар, Р. Сертифікація професійної компетентності персоналу [Текст] / Р. Байцар, М. Сколздра, О. Гарасим // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008. – № 69. – С. 108–113.
11. Chin, K.-S. An evidential reasoning based approach for quality function deployment under uncertainty [Text] / K.-S. Chin, Y.-M. Wang, J.-B. Yang, K. K. Gary Poon // Expert Systems with Applications. – 2009. – Vol. 36, Issue 3. – P. 5684–5694. doi: 10.1016/j.eswa.2008.06.104
12. Lin, V. S. Accuracy and bias of experts' adjusted forecasts [Text] / V. S. Lin, P. Goodwin, H. Song // Annals of Tourism Research. – 2014. – Vol. 48. – P. 156–174. doi: 10.1016/j.annals.2014.06.005
13. Hong, D. H. Fuzzy linear regression analysis for fuzzy input–output data using shape–preserving operations [Text] / D. H. Hong, S. Lee, H. Y. Do // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – Vol. 122, Issue 3. – P. 513–526. doi: 10.1016/s0165-0114(00)00003-8
14. Yang, M.-S. Fuzzy least-squares linear regression analysis for fuzzy input–output data [Text] / M.-S. Yang, T.-S. Lin // Fuzzy Sets and Systems. – 2002. – Vol. 126, Issue 3. – P. 389–399. doi: 10.1016/s0165-0114(01)00066-5
15. Seraya, O. V. Linear regression analysis of a small sample of fuzzy input data [Text] / O. V. Seraya, D. Demin // Journal of Automation and Information Sciences. – 2012. – Vol. 44, Issue 7. – P. 34–48. doi: 10.1615/jautomatinfscien.v44.i7.40
16. İcen, D. Error measures for fuzzy linear regression: Monte Carlo simulation approach [Text] / D. İcen, H. Demirhan // Applied Soft Computing. – 2016. – Vol. 46. – P. 104–114. doi: 10.1016/j.asoc.2016.04.013
17. Livotov, P. Estimation of new-product success by company's internal experts in the early phases of innovation process [Text] / P. Livotov // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 39. – P. 150–155. doi: 10.1016/j.procir.2016.01.181
18. Kuo, T.-C. Integration of environmental considerations in quality function deployment by using fuzzy logic [Text] / T.-C. Kuo, H.-H. Wu, J.-I. Shieh, // Expert Systems with Applications. – 2009. – Vol. 36, Issue 3. – P. 7148–7156. doi: 10.1016/j.eswa.2008.08.029
19. Carnevalli, J. A. Review, analysis and classification of the literature on QFD [Text] / J. A. Carnevalli, P. C. Miguel // International Journal of Production Economics. – 2008. – Vol. 114, Issue 2. – P. 737–754. doi: 10.1016/j.ijpe.2008.03.006
20. Chan, L.-K. Quality function deployment: A literature review [Text] / L.-K. Chan, M.-L. Wu // European Journal of Operational Research. – 2002. – Vol. 143, Issue 3. – P. 463–497. doi: 10.1016/s0377-2217(02)00178-9
21. Бехтерев, В. М. Влияние коллектива на личность [Текст] / В. М. Бехтерев, М. В. Ланге. – М.: Работник просвещения, 1998. – 244 с.
22. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
23. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
24. Обозовський, С. С. Інформаційно – вимірювальна техніка: Методологічні питання теорії вимірювань [Текст] / С. С. Обозовський. – К.: ІСДО, 1993. – 424 с.